

SOBRE LA DISTRIBUCION EN ALTURA DE LAS COMPONENTES MEDIAS ZONAL Y MERIDIONAL EN LA PENINSULA IBERICA Y BALEARES

*Por R. Riosalido
Centro Meteorológico del Ebro, INM*

1. Introducción

El esquema que, según la Circulación General de la Atmósfera, corresponde a nuestras latitudes dentro de la troposfera, es el de una corriente o flujo medio zonal del Oeste al que se superponen una serie de ondulaciones de diversa amplitud constituidas por vaguadas y dorsales semipermanentes en altura que hacen aparecer, en consecuencia, un flujo alternativo del Norte o del Sur a lo largo de todo un paralelo geográfico.

Si consideramos una superficie que abarque todo un paralelo desde la superficie de la tierra hasta el límite superior de la atmósfera, es evidente que el flujo másico a través de él ha de ser nulo para promedios temporales largos, pues en caso contrario implicaría una acumulación continua de aire en alguna zona de la atmósfera; pero para el mantenimiento de esta Circulación General debe existir un transporte neto de energía sensible y momento angular en dirección del Ecuador hacia los Polos.

Esto debe ocurrir a nivel global, pero a nivel local, ni tiene por qué ser nulo el transporte de masa, ni los transportes de energía sensible y momento angular han de tener la dirección especificada, sino que estarán determinados por la estructura del flujo meridional, el cual, a su vez, dependerá de la latitud geográfica para un paralelo determinado.

El propósito de este trabajo es el de establecer, para un período de tiempo dado, los perfiles medios de la componente zonal (\bar{u}) y meridional (\bar{v})

del viento en la troposfera en una zona geográfica localizada, estudiar su distribución espacial y temporal y deducir, por tanto, algunas características de alguno de los transportes antes mencionados.

Para ello hemos procedido a calcular las componentes medias zonal y meridional para los niveles isobáricos tipo entre 850 y 100 mbs, para las estaciones de radiosondeo de La Coruña, Madrid, Palma de Mallorca, Lisboa y Gibraltar para el período de 1971-1975 (ambos inclusive), partiendo de los vientos vectoriales medios mensuales a cada nivel consignados en los Clima-Temp de estas estaciones. Los resultados se han representado gráficamente en las figuras 1 a 7, en las que hemos considerado como positivos los vientos del Oeste y Norte, y negativos los del Este y del Sur.

2. Componente zonal

2.1. Valores medios anuales y estacionales

En la figura 1 están representados los valores medios estacionales y anual de la componente zonal para el conjunto de estaciones. Como es lógico, la resultante es positiva (del Oeste) a todos los niveles y crece con la altura hasta aproximadamente los 200 mbs, donde alcanza su valor máximo, disminuyendo más arriba.

Comparando los valores de las diferentes estaciones se puede apreciar cómo a medida que disminuye la latitud aumenta la componente zonal, así, La Coruña presenta los valores mínimos y Gibraltar los máximos.

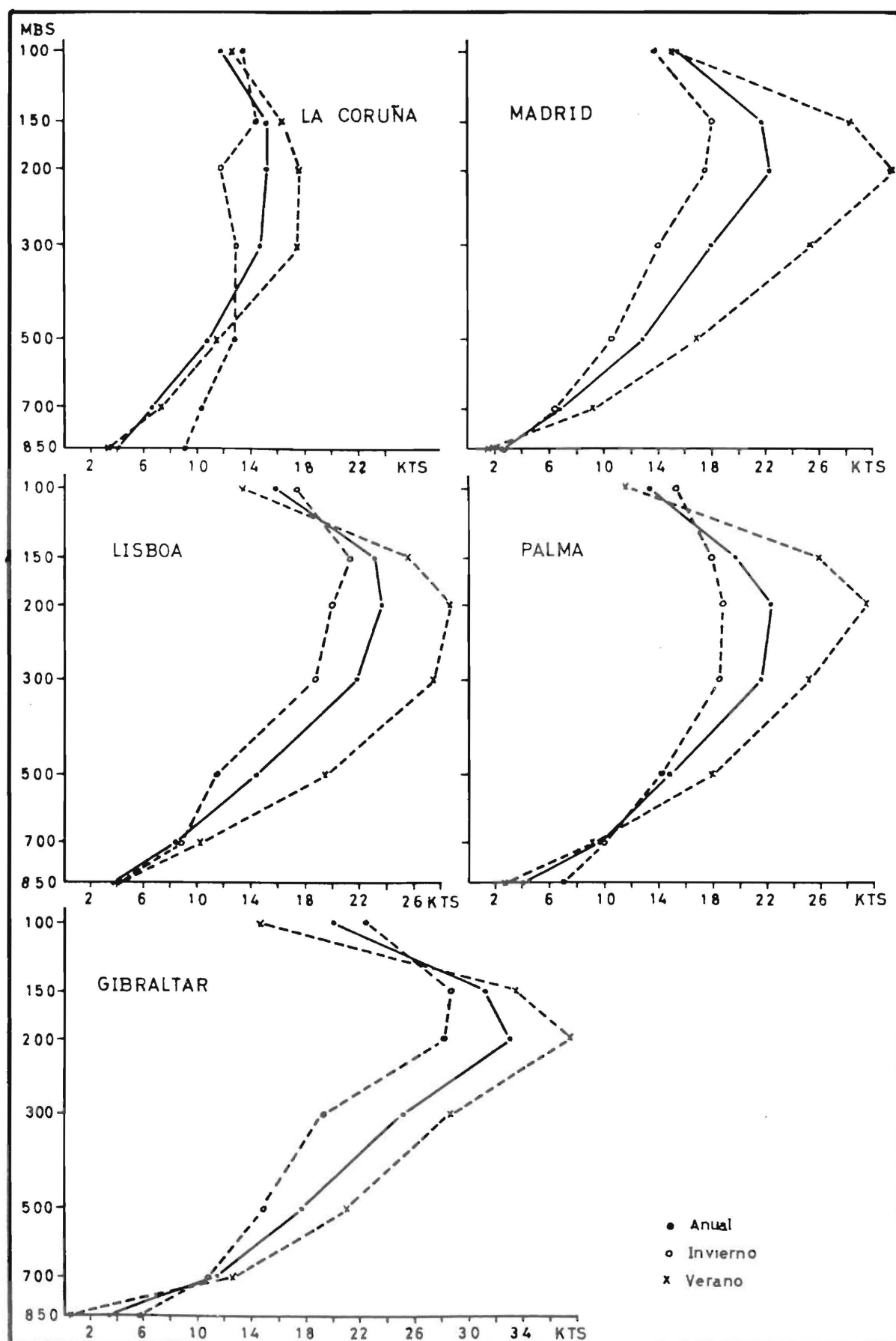


Figura 1.—Componente zonal media (1971-1975).

En efecto, si representamos \bar{u} como función de la latitud para cada nivel (Fig. 8), los puntos obtenidos se ajustan bastante bien a líneas rectas, con coeficientes de correlación superiores a 0,9 (salvo para 850 mbs), la pendiente de estas rectas va aumentando con la altura también hasta los 200 mbs, por encima de los cuales disminuyen.

En cuanto a su distribución estacional, se aprecia en todas ellas cómo es más intensa la circulación del Oeste en verano que en invierno a partir de un nivel situado entre 850 y 700 mbs (salvo en La Coruña, que es desde los 500 mbs) y casi hasta los 100 mbs.

2.2. Distribución mensual

En las figuras 3 a 7 se puede ver cómo se distribuyen mensualmente la componente media zonal a diferentes niveles de presión. Dos aspectos merecen destacarse: en primer lugar, la aparición de varios núcleos máximos del Oeste, salvo en Madrid, donde sólo aparece uno, generalmente situados éstos en los meses de primavera y verano (alguno aislado hay en enero) alrededor de los 200 mbs, con valores que van desde los 25 nudos de La Coruña a los 40 de Gibraltar.

El otro hecho destacable es la discontinuidad que supone el mes de diciembre, el cual presenta los valores mínimos absolutos de circulación zonal del Oeste a todos los niveles y en todas las estaciones, es más, en algunos sitios aparecen pequeños núcleos negativos (del Este). Esta discontinuidad se puede apreciar en las figuras por el gran número de isotacas, casi verticales, alrededor de este mes.

3. Componente meridional

3.1. Valores medios anuales y estacionales

En la figura 2 se han representado los valores medios estacionales y anuales de la componente meridional. En ella se puede apreciar, en primer lugar, que presenta valores sensiblemente inferiores

a los de la componente zonal, como corresponde al hecho de ser ésta la que predomina en nuestras latitudes, y que la resultante es del Norte a todos los niveles, excepto para Gibraltar por debajo de 500 mbs. También se puede apreciar, aunque de una manera menos acusada, el aumento con la altura, en este caso hasta los 300 mbs (200 mbs en Palma).

Si la componente zonal aumentaba al disminuir la latitud, aquí ocurre todo lo contrario, la componente meridional anual disminuye con la latitud, correspondiendo ahora a La Coruña los valores máximos y a Gibraltar los mínimos, pero en este caso no es posible hallar una buena correlación entre \bar{v} y la latitud como en el caso de \bar{u} .

En cuanto a la distribución estacional parecen distinguirse dos grupos de estaciones con características diferenciadas. En Madrid, Lisboa y Gibraltar el máximo flujo del Norte se localiza lógicamente en invierno, mientras que en verano el flujo resultante es del Sur en toda la troposfera, pero en cambio en La Coruña y Palma de Mallorca el flujo es del Norte tanto en verano como en invierno, aunque por supuesto más intenso en el primero; además, en La Coruña el máximo de \bar{v} corresponde al otoño y primavera (no representados en la figura), mientras que en el resto estos valores andan muy cerca de la media anual. Esta diferencia entre los dos grupos de estaciones se observa claramente en la distribución de los valores medios mensuales.

3.2. Distribución mensual

En efecto, si observamos las figuras 3 a 7 saltan rápidamente a la vista importantes diferencias entre estos dos grupos de estaciones.

En Madrid, Lisboa y Gibraltar la componente resultante es del Sur a casi todos los niveles prácticamente desde mayo a octubre, con sus valores máximos en julio y agosto. En los meses restantes el flujo es del Norte, más intenso, con valores máximos en enero-febrero (16 kts), aunque en Lisboa aparece también un núcleo máximo en noviembre.

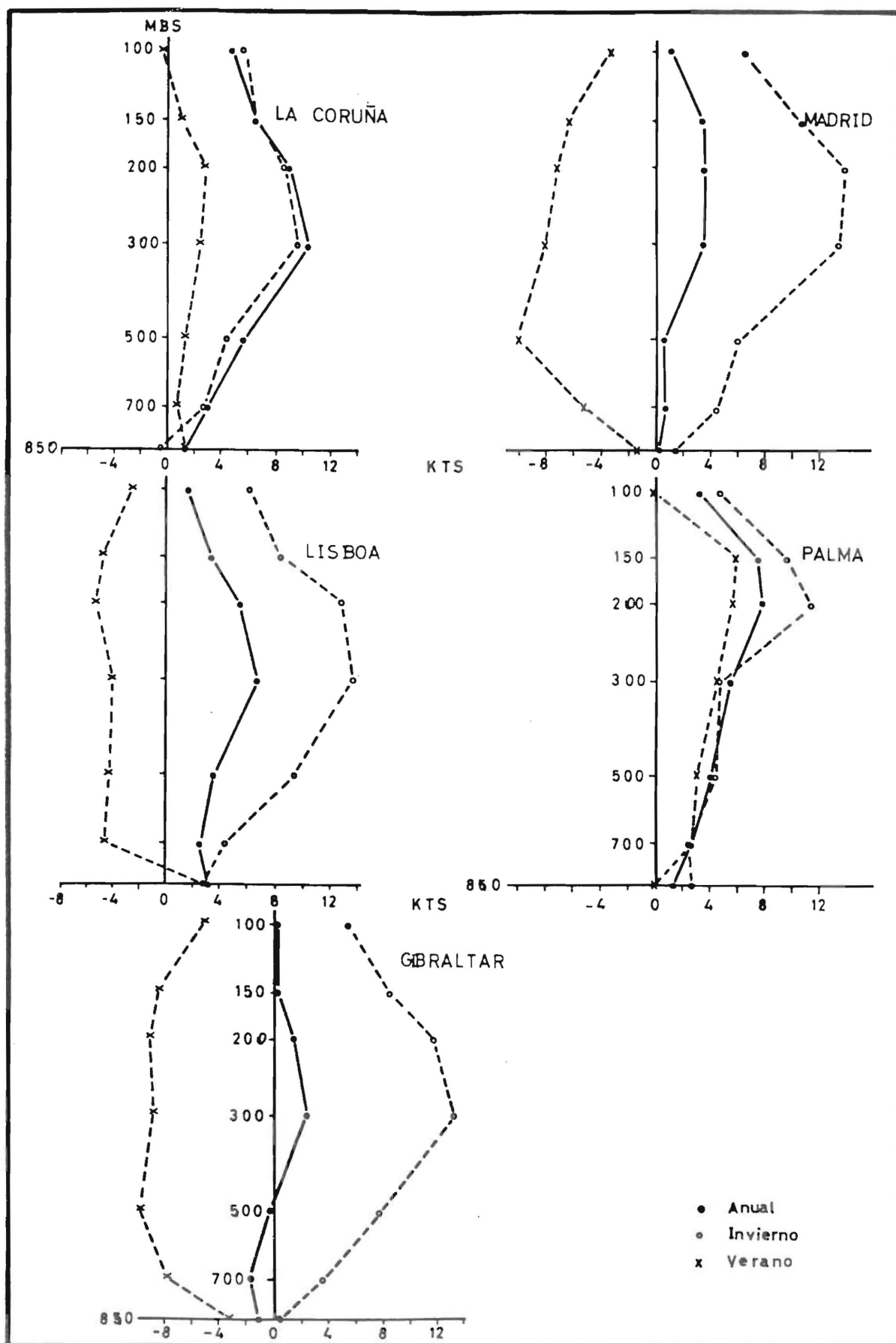
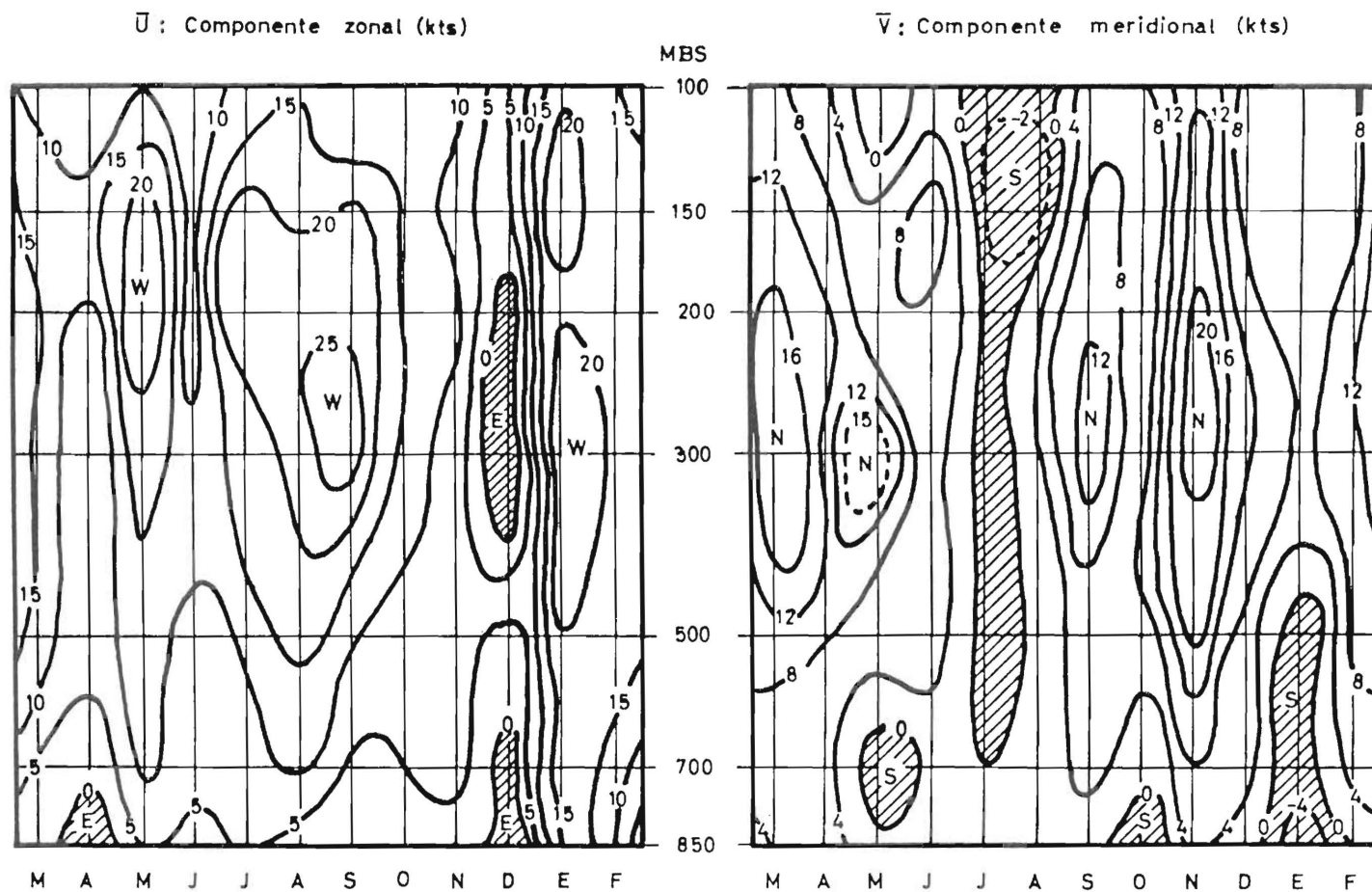


Figura 2.—Componente meridional media (1971-1975).

Figura 3.—La Coruña (1971-1975).



En cambio, en La Coruña y Palma de Mallorca la distribución mensual de la componente meridional es mucho más irregular, en ellas no aparece un único núcleo del Norte, sino varios, aunque el más importante se centra en los meses de octubre a noviembre, y varios del Sur con valores absolutos muy pequeños. Especialmente llamativos resultan los pequeños núcleos del Sur que aparecen en diciembre en Palma de Mallorca entre 850 y 300 mbs, y en enero en La Coruña hasta los 500 mbs.

4. Transporte de momento angular

De los resultados anteriores se deduce que existe un transporte meridional neto de masa, y por tanto de energía y momento angular dirigido hacia el Sur ($\bar{v} > 0$) en la troposfera sobre esta zona geográfica. Vamos a calcular alguno de los términos del transporte meridional de momento angular.

Volviendo a la pared imaginaria del apartado 1, supongamos en ella una ventana de altura Δz (la correspondiente entre 850 y 100 mbs.) y de una anchura $\Delta \lambda^\circ$ de longitud tal que podamos considerar a \bar{u} y \bar{v} como constantes a cada nivel, el transporte de momento angular a través de esta ventana vendrá dado por [Haltiner (1)]:

$$T = \iint \sigma \rho M v_n d\sigma \quad [1]$$

donde ρ es la densidad del aire, M el momento angular absoluto por unidad de masa y v_n la componente del viento normal a la superficie σ de la ventana (es decir la componente meridional v del viento). Teniendo en cuenta que

$$d\sigma = R \cos \varphi dz d\lambda \quad [2]$$

donde R es el radio de la tierra (despreciaremos en lo sucesivo z frente a R), la ecuación [1] se convertirá en:

$$T = \int_{z_1}^{z_2} \int_{\lambda - \frac{\Delta \lambda}{2}}^{\lambda + \frac{\Delta \lambda}{2}} \rho M v R \cos \varphi d\lambda dz =$$

$$= R \cos \varphi \Delta \lambda \int_{z_1}^{z_2} \rho M v dz \quad [3]$$

que haciendo uso de la ecuación hidrostática:

$$T = - \frac{R \cos \varphi \Delta \lambda}{g} \int_{p_1}^{p_2} M v dp \quad [4]$$

sustituyendo M por su valor:

$$M = (\Omega R \cos \varphi + u) R \cos \varphi = \Omega R^2 \cos^2 \varphi + u R \cos \varphi \quad [5]$$

tendremos:

$$T = K \int_{p_2}^{p_1} (\Omega R v \cos \varphi + u v) dp \quad [6]$$

donde

$$K = \frac{R^2 \cos^2 \varphi \Delta \lambda}{g} \quad [7]$$

Estamos interesados en el transporte medio, así que si promediamos sobre el tiempo:

$$\bar{T} = K \int_{p_2}^{p_1} (\Omega \bar{v} R \cos \varphi + \bar{u} \bar{v} + \overline{u'v'}) dp \quad [8]$$

donde se ha hecho uso de: $\overline{u'v'} = \bar{u} \bar{v} + \overline{u'v'}$. En definitiva podemos escribir:

$$\bar{T} = K \left[R \cos \varphi \int_{p_2}^{p_1} \bar{v} dp + \int_{p_2}^{p_1} \bar{u} \bar{v} dp + \int_{p_2}^{p_1} \overline{u'v'} dp \right] \quad [9]$$

o bien:

$$\bar{T} = T_\Omega + T_A + T_R \quad [10]$$

Veamos el significado de cada uno de estos términos. El primer término T_Ω es el transporte de momento angular de la tierra debido a la corriente meridional media, se le suele denominar transporte- Ω . El segundo término, T_A , es el transporte, también por la corriente media meridional, del momento angular de la corriente zonal media, y lo

denominaremos transporte de arrastre [Hess, Hal-
tiner, (1) (2)] (Drift-term), y el tercer y último tér-
mino, T_R , es el transporte ocasionado por las fluc-
tuaciones de la corriente zonal y meridional debi-
do a las perturbaciones asociadas a los sistemas de
ondas planetarias o remolinos (eddy flux term).

De estos tres términos evaluaremos únicamente
los dos primeros, el transporte- Ω y el de arrastre,
ya que sólo disponemos de los perfiles de \bar{u} y \bar{v} , y
no así de los valores de las perturbaciones u' y v' ,
ya que hemos partido inicialmente de valores me-
dios.

Estos dos términos se han evaluado para cada
uno de los dos estratos comprendidos entre los
niveles isobáricos tipo, suponiendo constante el
integrando e igual al valor medio dentro del estrato.
Hemos tomado un intervalo arbitrario $\Delta\lambda =$
 10^{-1} rad (se puede tomar otro intervalo más pe-
queño sin más que multiplicar todos los resulta-
dos por un factor constante).

En la Tabla I se muestran los valores obtenidos
para ambos términos (T_Ω y T_A) del transporte me-
dio estacional y anual en todo el espesor 850-100
mbs expresados en $\text{gr cm}^2 \text{s}^{-2}$ para el conjunto de
estaciones. En primer lugar hay que observar que
el transporte- Ω es dos órdenes de magnitud
mayor que el transporte de arrastre (10^{26} frente a
 10^{24}), es decir, si a nivel global (todo un paralelo)
el transporte ha de ser nulo [Starr (3)], a nivel
local es el responsable fundamental del transporte
meridional de momento angular, ya que el tercer
término T_R será uno o dos órdenes inferior que
 T_ω [Starr (3)].

En invierno, primavera y otoño ambos trans-
portes (T_Ω , T_A) son positivos en todas las estacio-
nes, esto es, transporte de momento angular hacia
el Ecuador. En cuanto a su variación espacial el
máximo en invierno corresponde a Gibraltar, dis-
minuyendo al aumentar la latitud, siendo por tan-
to mínimo en La Coruña; mientras que en prima-
vera y otoño el mínimo corresponde a Gibraltar
(que es debido al hecho de que $\bar{v} < 0$ en gran
parte de estas estaciones en Gibraltar, otro tanto
ocurre con Madrid en los meses de mayo y sep-
tiembre, por lo que es la estación con segundo va-
lor más bajo).

En verano aparece lógicamente la distinción
entre los dos grupos de estaciones que veíamos al
estudiar los perfiles de \bar{v} . En La Coruña y Palma
de Mallorca el transporte sigue siendo en conjun-
to hacia el Ecuador, mientras que en Lisboa, Ma-
drid y Gibraltar el transporte tiene dirección Nor-
te (como corresponde con lo observado en las fi-
guras 4, 6 y 7 donde aparece una banda ancha de
viento de componente Sur), además presentan va-
lores bastante altos, siendo en Gibraltar mayores
que en cualquier otra época del año (en valor ab-
soluta) y sobre todo en el término de arrastre, de-
bido a que la componente zonal es mayor en vera-
no que en invierno como veíamos anteriormente.

En cuanto a los valores medios anuales el
transporte- Ω es positivo en todas las estaciones,
observándose una cierta disminución con la lati-
tud (tal como lo hacía \bar{v}). Por lo que respecta al
transporte de arrastre éste también es positivo sal-
vo en Gibraltar, donde el fuerte transporte hacia
el Norte que ocurre en verano da una resultante
neta en esa dirección, como la variación con la la-

TABLA I.— Transporte medio de momento angular entre 850 y 100 mbs.

	Transporte- Ω ($10^{26} \text{ gr cm}^2 \text{s}^{-2}$)					Transporte de arrastre ($10^{24} \text{ gr cm}^2 \text{s}^{-2}$)				
	I	P	V	O	Año	I	P	V	O	Año
LA CORUÑA	1,4	2,3	0,4	2,5	1,7	2,7	4,1	0,9	4,5	3,1
MADRID	2,5	0,9	-2,3	0,8	0,5	4,9	1,9	-6,4	1,7	0,5
PALMA M.	1,6	1,3	1,1	1,7	1,4	3,7	3,4	3,3	3,7	3,5
LISBOA	2,9	2,3	-1,3	1,2	1,3	6,4	5,0	-4,0	3,1	2,6
GIBRALTAR	3,0	0,1	-3,1	0,2	0,05	7,8	0,4	-9,7	1,2	-0,08

Figura 4.—Madrid-Barajas (1971-1975).

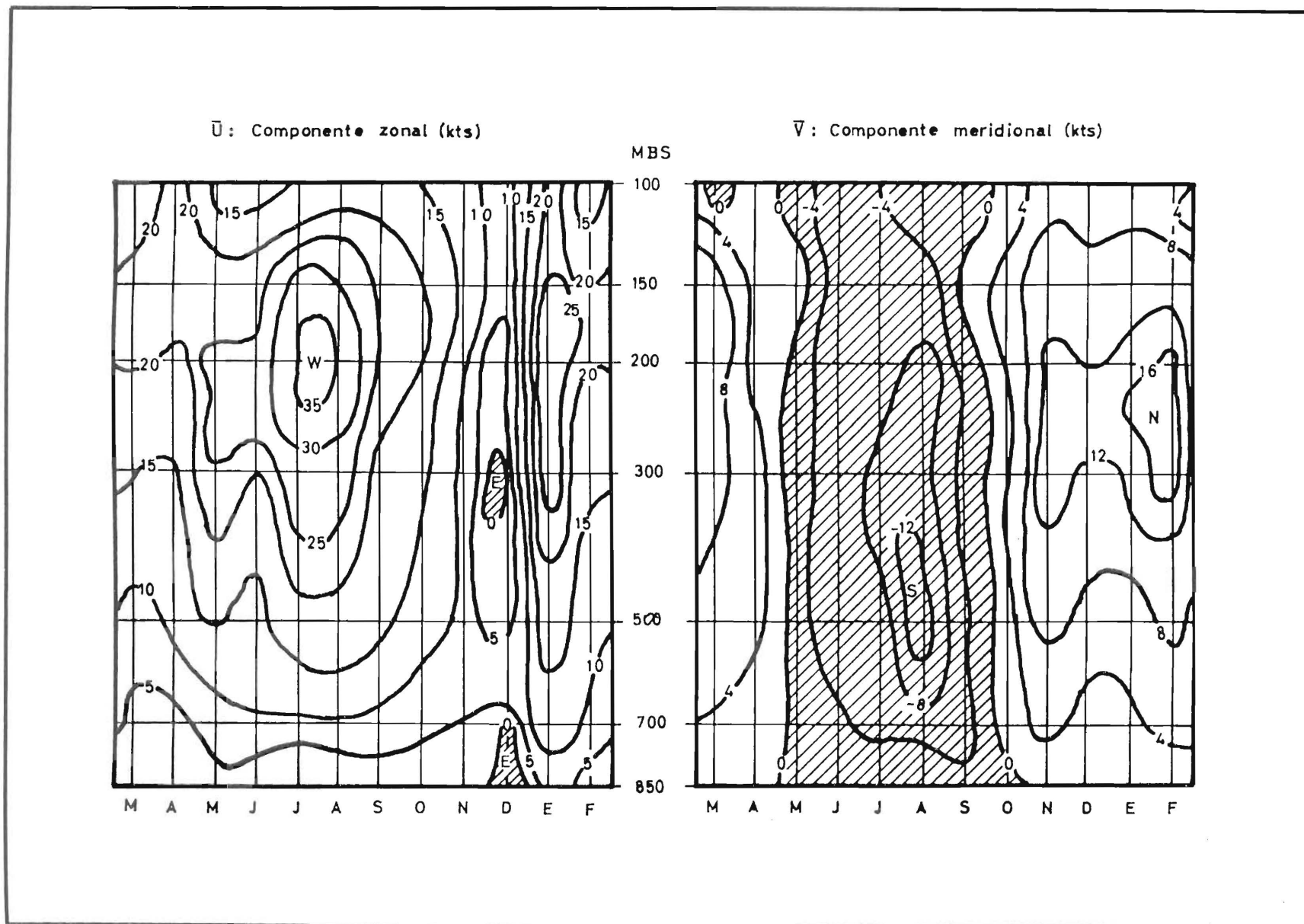


Figura 5.—Palma de Mallorca (1971-1975).

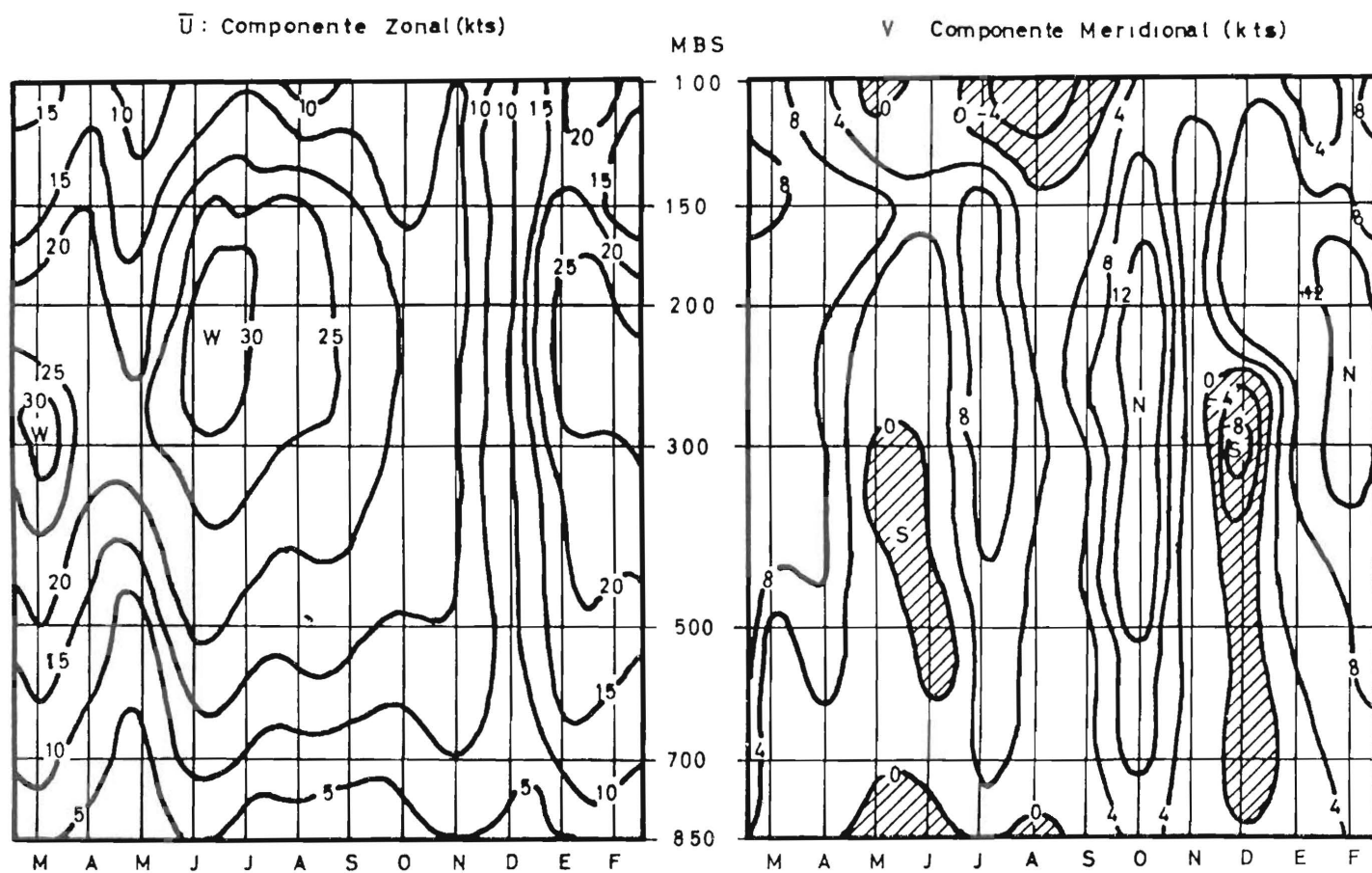
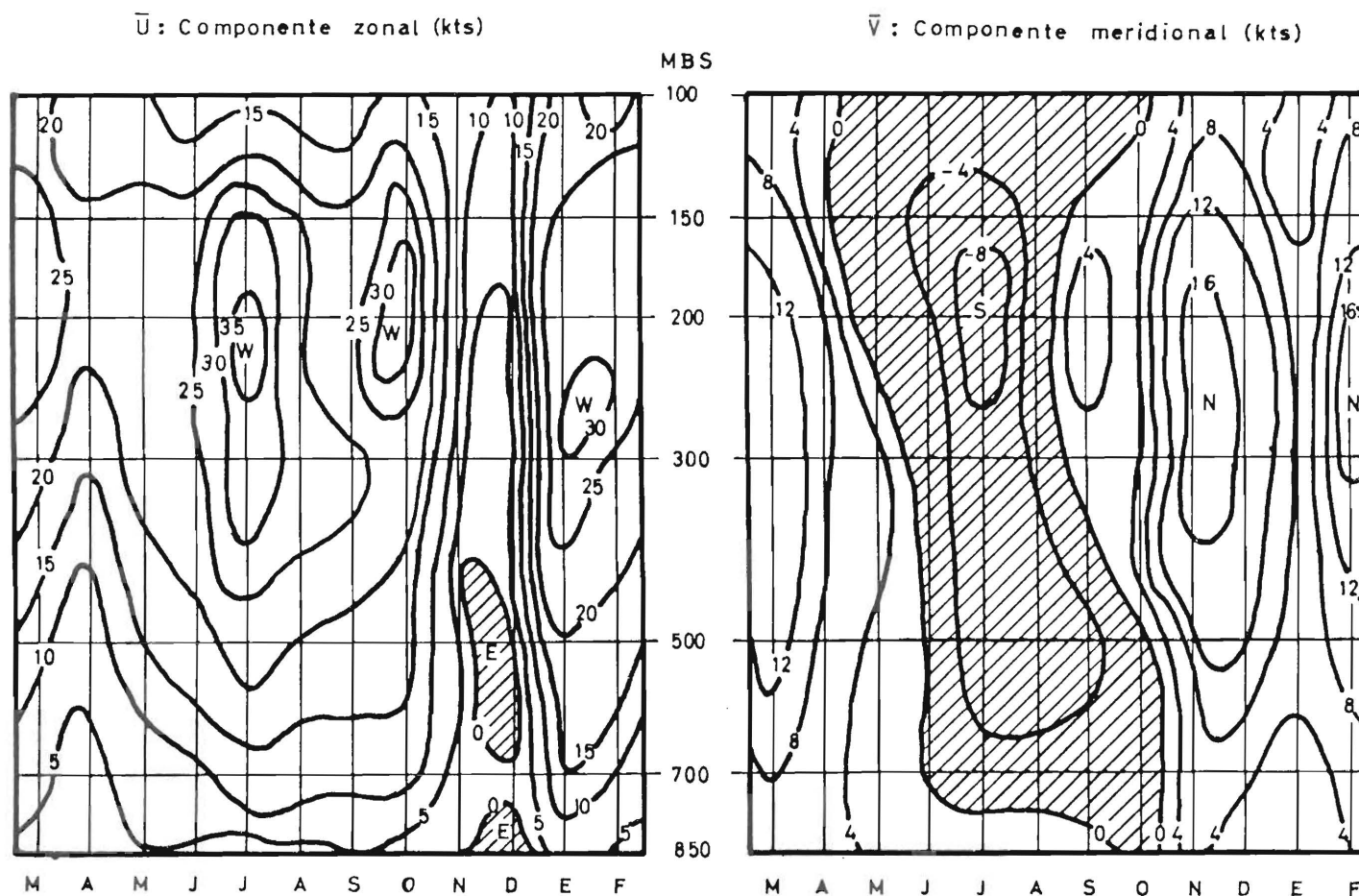


Figura 6. — Lisboa (1971-1975).



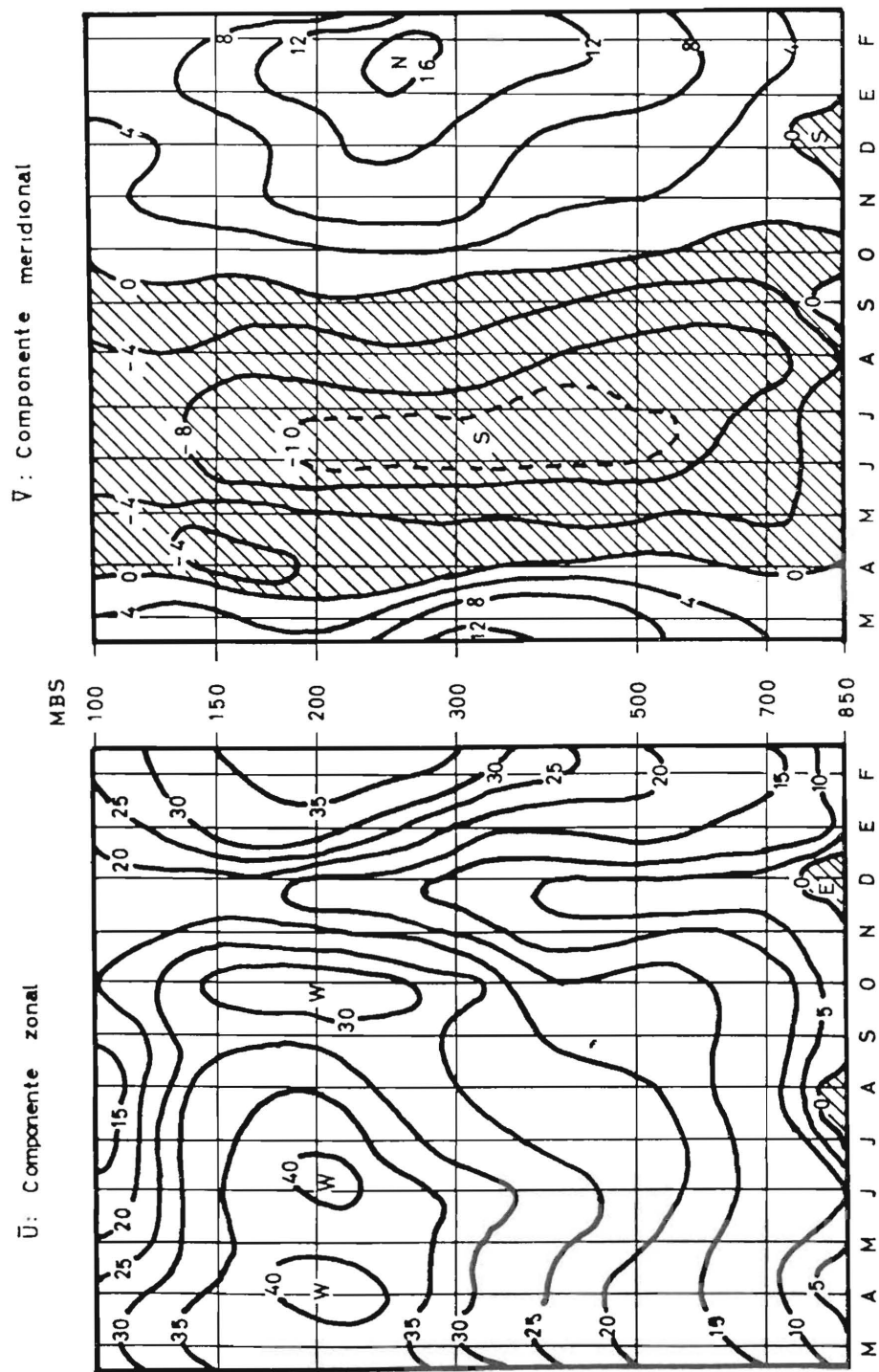


Figura 7.—Gibraltar (1971-1975).

TABLA II.— Transporte medio anual de momento angular en los diferentes estratos en 10^{22} gr $\text{cm}^2 \text{s}^{-2} \text{mb}^{-1}$.

	Transporte- Ω					Transporte de arrastre				
	LA CORUÑA	MADRID	PALMA	LISBOA	GIBRALTAR	LA CORUÑA	MADRID	PALMA	LISBOA	GIBRALTAR
850	8,7	0,8	8,6	10,7	-6,8	0,06	-0,01	0,09	0,06	0,08
700	16,6	1,4	14,9	11,3	-4,9	0,22	-0,04	0,27	0,14	-0,14
500	30,3	8,4	21,1	23,4	6,0	0,59	0,06	0,57	0,52	0,07
300	36,2	15,0	29,4	28,2	9,6	0,80	0,22	0,91	0,77	0,15
200	29,2	14,8	34,8	20,3	4,0	0,66	0,28	1,02	0,58	0,01
150	21,2	9,5	24,2	11,5	1,3	0,44	0,20	0,62	0,32	0,03
100										

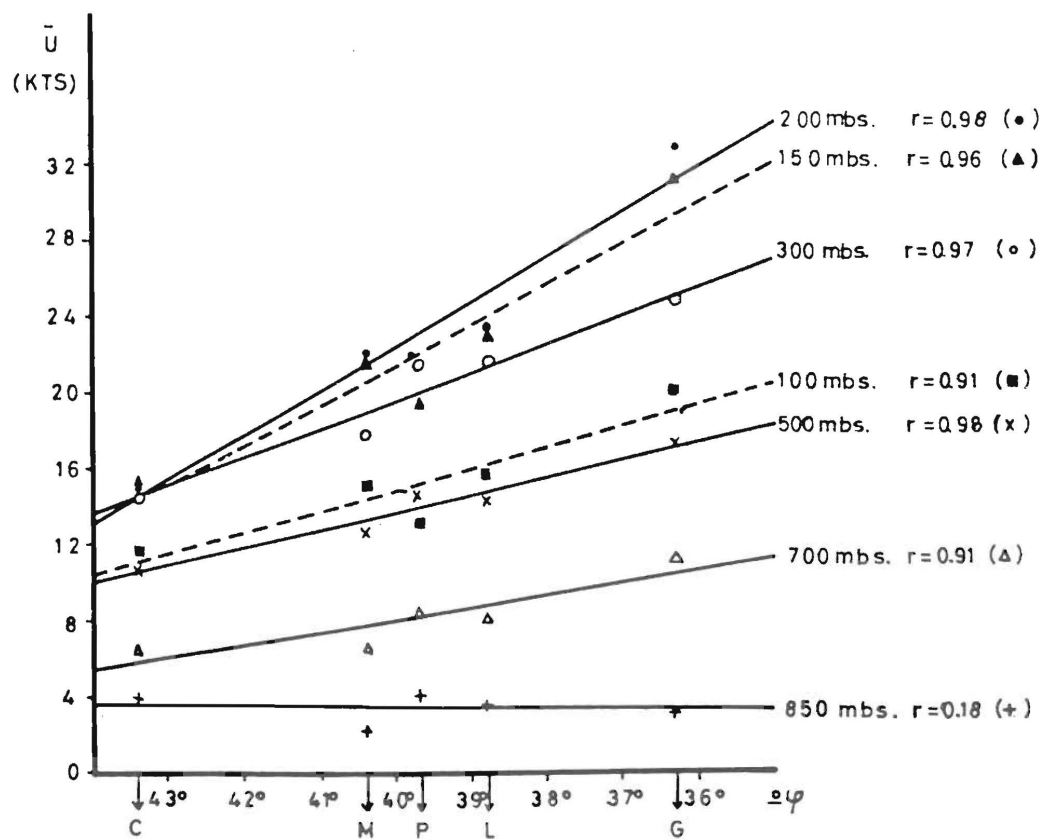


Figura 8.—Variación con la latitud de la componente zonal media anual.

titud de \bar{u} y \bar{v} son opuestas, en este término no se observa una tendencia en su variación con la latitud.

Por último, en la Tabla II se presenta el transporte medio anual en los diferentes estratos expresados esta vez en $\text{gr cm}^2 \text{s}^{-2} \text{mb}^{-1}$ con objeto de que los datos sean directamente comparables entre sí dada la diferencia de espesor de los estratos utilizados.

La variación en la vertical del transporte- Ω es la misma que la variación \bar{v} salvo por un factor constante para cada estación, por lo que los perfiles de \bar{v} obtenidos anteriormente y sus conclusiones son válidas para T_Ω sin más que multiplicarlos por ese factor. En definitiva, este transporte por unidad de presión en la vertical aumenta con la altura alcanzando el máximo en el estrato comprendido entre los 300 y 200 mbs, salvo en Palma de Mallorca, que lo hace en el inmediatamente superior. Otro tanto ocurre con el término de arrastre que alcanza su máximo en el estrato de 300-200 mbs (La Coruña, Lisboa y Gibraltar) o en el de 200-150 mbs (Madrid y Palma de Mallorca).

5. Conclusiones

1. Se han calculado los perfiles mensuales, estacionales y anual de las componentes medias zonal y meridional entre 850 y 100 mbs para cinco estaciones de radiosondeo en el período de 1971-1975.

2. La componente zonal media es básicamente del Oeste todo el año, aumentando con la altura hasta los 200 mbs y aumentando también al disminuir la latitud de la estación de una forma bastante lineal, además es más intensa en verano que en invierno a partir de 850-700 mbs, existiendo un mínimo de corriente zonal en diciembre.

3. La componente meridional es del Norte

como promedio anual, aumentando también con la altura y disminuyendo con la latitud, aunque de una forma más irregular. Esta componente es del Norte en invierno y del Sur en verano en Lisboa, Madrid y Gibraltar mientras que en La Coruña y Palma de Mallorca resta del Norte tanto en invierno como en verano.

4. Se han calculado los términos del transporte meridional de momento angular de la tierra (transporte- Ω) y de la corriente zonal media (transporte de arrastre), para cada una de las estaciones dando como resultado un transporte neto en dirección al Ecuador y poniendo de manifiesto que el transporte- Ω es el principal responsable a nivel local del transporte neto de momento angular.

5. Es necesario realizar una evaluación del término de transporte debido a las perturbaciones de la corriente media con objeto de cuantificar su importancia en el transporte de momento angular a nivel local.

Bibliografía

- (1) HALTNER, G. J: *Dynamical and Physical Meteorology*. McGraw-Hill Book C. New York, 1957.
- (2) HESS, S. L: *Introduction to Theoretical Meteorology*. Holt, Reinhart and Winston. New York, 1957.
- (3) STARR, V. P, and WHITE, R. M: *A Hemispherical Study of the Atmospheric Angular Momentum Balance*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. Vol. 77, 1951.
- (4) MINTZ, Y: *The Geostrophic Poleward Flux of Angular Momentum in the Month of January 1949*. Tellus, Vol. 3, 1951.
- (5) HERNÁNDEZ, E, y RIOSALIDO, R: *Contribución al estudio del flujo medio zonal y meridional en el Sureste de España*. III Asamblea Nal. de Geodesia y Geofísica. Vol. II, 1979.